نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۷۱۷-۷۰۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 705-717
ISSN: 2008 - 4730

مقاله علمی-پژوهشی

اثر تیمارهای پس از برداشت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی میوه بادنجان (*Solanum melongena* L.)

رضا نجفی[۱]- طاهر برزگر[۲]*- فرهنگ رضوی[۳]- زهرا قهرمانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تیمارهای فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر عمر انبارمانی و کیفیت میوه بادنجان آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تیمارهای فنیل‌آلانین در سه غلظت (۲/۵، ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار)، سولفید هیدروژن در سه غلظت (۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) و شاهد (تیمار آب مقطر) و فاکتور دوم طول دوره انبارمانی (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) بود. میوه‌ها پس از تیمار به‌مدت ۷، ۱۴ و ۲۱ روز در دمای هفت درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰- ۸۵ درصد نگهداری شدند. نتایج نشان داد که در میوه‌های شاهد بعد از ۲۱ روز انبارمانی، محتوای کلروفیل کل کاسبرگ (۴۵/۸ درصد)، ویتامین ث (۳۴/۱ درصد)، اسیدیته قابل تیتراسیون (۴۴/۸ درصد)، آنتوسیانین (۶۶/۲ درصد) و سفتی بافت میوه (۲۴/۲ درصد) کاهش، و کاهش وزن میوه (۷/۵ درصد)، مواد جامد محلول کل (۸/۳ درصد) و شاخص سرمازدگی (۴/۳ درصد) افزایش یافت. نتایج نشان داد که کاربرد پس از برداشت سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین تاثیر معنی‌داری بر حفظ کیفیت و عمر انبارمانی میوه داشتند. در پایان دوره انبارمانی بیشترین سفتی بافت میوه (۱/۳۷ و ۱/۳۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)، آنتوسیانین (۵/۰۲ و ۴/۲ میلی‌گرم در لیتر) و اسید قابل تیتراسیون (۱۵/۶۶ و ۱۸/۶۷ درصد) و کمترین درصد کاهش وزن میوه (۳/۶۷ و ۳/۷) و شاخص سرمازدگی (۱/۶ و ۱/۳ درصد) به ترتیب در میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن ۳ میلی‌مولار و فنیل‌آلانین ۷/۵ میلی‌مولار بدست آمد. با توجه به نتایج، تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن می‌تواند جهت بهبود خواص کیفی و عمر ماندگاری میوه بادنجان، در طول دوره انبارمانی پیشنهاد گردد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، سفتی بافت، سرمازدگی، کاهش وزن، ویتامین ث

مقدمه

بادنجان با نام علمی (*Solanum melongena* L.) از خانواده سولاناسه یکی از سبزی‌های مهم اقتصادی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان است (۳۲). میزان تولید بادنجان در ایران و کل جهان به ترتیب بالغ بر ۶۶۶۸۳۸ و ۵۴۰۷۷۲۱۰ تن است، که بر این اساس ایران پنجمین کشور تولید کننده بادنجان در سال ۲۰۱۸ شناخته شده است (۱۴). میوه بادنجان منبع مهم و غنی از ویتامین‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند آنتوسیانین و اسید فنولیک است که تأثیرات مثبتی بر سلامتی انسان دارد (۱۵). از جمله مشکلات پس از برداشت بادنجان در طول دوره انبارمانی، کاهش کیفیت ظاهری، کاهش طعم و ارزش غذایی، نرم شدن و قهوه‌ای شدن بافت میوه است (۲۹)، بنابراین انبار سرد عموما برای حفظ کیفیت پس از برداشت میوه‌ها استفاده می‌شود، با این وجود میوه ارقام مختلف بادنجان در دماهای زیر ۱۰ درجه‌سانتی‌گراد نسبت به آسیب سرمازدگی حساس می‌باشند. آسیب سرمازدگی با علایم اصلی شامل پیری سریع، پژمردگی پوست، تغییر رنگ کاسبرگ‌ها، قهوه‌ای شدن بذرها و گوشت میوه آشکار می‌شود (۱۱). تغییر رنگ کاسبرگ‌ها و پوست میوه در طی انبارمانی، کاهش سفتی، قهوه‌ای شدن ناشی از اکسیداسیون ترکیبات فنلی باعث کاهش بازارپسندی این محصول در انبار می‌شود (۹).

همانگونه که اشاره شد محصولات باغبانی برداشت‌شده قابلیت فساد پذیری بالایی دارند، بنابراین به‌کارگیری فنون و روش‌های مناسب جهت افزایش قابلیت ماندگاری و عرضه درتمام فصول سال و صادرات ضروری است. درحال حاضر به دلیل نگرانی‌های زیاد مصرف‌کنندگان در مورد اثرات مواد شیمیایی باقیمانده در محصولات باغبانی، این محصولات اغلب در دماهای پایین نگهداری می‌شوند، با این حال انبارداری دمای پایین منجر به ناهنجاری فیزیولوژیکی می‌شود که به‌عنوان خسارت سرمازدگی به انواع محصولات گرمسیری

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیاران گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: tbarzegar@znu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.87237

و نیمه گرمسیری معروف است که باعث کاهش چشمگیر کیفیت میوه و سبزی‌ها می‌شود (۱). گزارش شده است کـه سـولفید هیـدروژن بـا تنظیم جنبه‌های مرتبط با رسیدن میوه از جملـه تغییـر رنـگ، آسـیب سرما، تنفس، نرم‌شدن و پوسیدگی پس از برداشـت، نقـش مهمـی در فیزیولوژی پس از برداشـت میـوه‌هـا و سـبزی‌هـا دارد (۳۵). سـولفید هیدروژن (H_2S) به‌عنوان سومین سیگنال دهنده عمده گـازی بعـد از اسید نیتریک و مونواکسیدکربن درنظرگرفته می‌شود (۱۰). تیمـار ۱/۵ میلی‌مول بر لیتر سـولفید هیـدروژن سـدیم بطـور معنـی‌داری آسـیب سرمازدگی را در میوه‌های زالزالک نگهداری شده بـه‌مـدت ۲۰ روز در دمای یک درجه سانتی‌گراد را کاهش داد (۲). بررسـی تـأثیر سـولفید هیدروژن بر عمر انبارمانی میوه کیـوی نشـان داد کـه تیمـار سـولفید هیدروژن در غلظت‌هـای ۴۵ و ۹۰ میکـرو مـولار بـر لیتـر اثـر قابـل ملاحظه‌ای در افزایش قنـد محلـول، ویتـامین ث، میـزان کلروفیـل و استحکام بافت میوه داشت و همچنین تولید اتیلن را محدود کرد (۱۶). میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با سولفید هیدروژن دارای سفتی بافت میوه بیشتر، شاخص پوسیدگی و شدت تنفسی پائین‌تـری نسـبت بـه میوه‌های شاهد بودند (۲۱).

رنگ پوست میوه بادنجان یک شاخص مهم در کیفیـت ظـاهری میوه است که تا حدود زیادی تصمیم خرید مصرف‌کننـدگان را تعیـین می‌کند و تخریب رنگ مشخص میوه و سبزی‌ها یک محدودیت عمده در انبارمانی پس از برداشت محصولات است. گزارش شده اسـت کـه سولفید هیدروژن توانایی زیـادی در حفـظ کیفیـت ظـاهری برخـی از محصولات باغبانی دارد (۲۲).

فنیل‌آلانین با نام شـیمیایی 2-Amino-3-phenylpropanoic acid یکی از ۲۰ اسید آمینه اصلی به‌شمار می‌آید که یـک آلفـا آمینـو اسید با فرمول شیمیایی $C_9H_{11}NO_2$ می‌باشد (۳۱). اسید آمینه معطـر فنیل‌آلانین در گیاهان نه تنها از اجزای ضروری برای سـنتز پـروتئین است، بلکه به عنوان پیش‌ساز بیوسنتزی برای تولید طیف گسـترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه گیاهان می‌باشد (۳۷). در سال‌های اخیر، کاربرد خارجی فنیل آلانین به عنوان یک روش مفید بـرای افـزایش کیفیـت مواد مغذی در میوه‌ها و سبزی‌ها با تحریک تجمع فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها با ظرفیت بالای جاروب کردن گونه‌های فعال اکسیژن از طریق تحریک فعالیت مسیر فنیل پروپانوئید مورد توجه قرار گرفتـه است (۳۱). در طول دوره پس از برداشت محصـول، تحریـک فعالیـت مسیر فنیل پروپانوئید با استفاده از فنیل آلانـین برونـزا ممکـن اسـت برای بهبود تنش سرما زدگی و پوسیدگی قارچی، بـه تـاخیر انـداختن پیری و حفظ کیفیت حسی و تغذیه‌ای میوه و سـبزی‌هـا بسـیار مهـم باشد (۲). کاربرد همزمان فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن در میوه انـار رقم ملس ساوه منجر به کاهش آسیب سرمازدگی نسبت به میوه‌هـای شاهد شد (۲۵). کاربرد فنیل‌آلانین در غلظت پنج میلی‌مـولار بـه‌طـور معنی‌داری آسیب سرمازدگی را در میوه‌های گوجـه‌فرنگـی نگهـداری شده در دمای ۴ درجه سـانتی‌گـراد بـه‌مـدت ۲۸ روز کـاهش داد (۳). کاربرد فنیل‌آلانین در توت‌فرنگی، تولید ترکیبات معطر و آنتوسیانین را افزایش داد (۱۳). با این حال در مورد تاثیر تیمارهای پس از برداشـت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر عمر پس از برداشت میـوه بادنجـان پژوهشی صورت نگرفتـه اسـت، بنـابراین در پـژوهش حاضـر، اثـرات تیمارهای پی از برداشت فنیل آلانـین و سـولفید هیـدروژن بـر حفـظ کیفیت و عمر انبارمانی میوه بادنجـان گلخانـه‌ای مـورد بررسـی قـرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کـاملاً تصـادفی در سه تکرار در سردخانه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجـان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تیمارهـای فنیـل آلانین در سه غلظت (۲/۵، ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار)، سولفید هیـدروژن در سه غلظت (۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) و شاهد (تیمار آب مقطـر) و فـاکتور دوم طـول دوره انبارمـانی شـامل (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) بـود. هـر واحـد آزمایشی شامل نه میوه بود. میوه‌های بنفش بالغ و هم اندازه بادنجـان گلخانه‌ای رقم هـادرین (*Solanum melongena* cv. Hadrian) در زمستان ۱۳۹۷ از گلخانه تجاری واقع در شهرستان هشـتگرد از توابـع استان البرز برداشت گردید. ابتدا میوه‌ها با آب مقطر شسـت‌وشـو داده شدند و پس از خشک‌شـدن در غلظـت‌هـای مختلـف فنیـل‌آلانـین و سولفید هیدروژن (ساخت شرکت مرک آلمان) به‌مدت ۱۰ دقیقـه و در دمای اتاق و با استفاده از توئین ۲۰ درصد غوطـه‌ور گردیدنـد. سـپس میوه‌ها در سردخانه به‌مدت ۲۱ روز در دمای هفت درجه سانتی‌گـراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد نگهداری شدند و در فاصله زمانی ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پس از شروع انبارمانی، میـوه‌هـا برداشـت گردیـد و صـفات کمی و کیفی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت (۳).

جهت اندازه‌گیری مواد جامد محلول ابتدا عصاره میوه‌ها تهیه شـد و سپس مقدار مواد جامد محلول با استفاده از رفراکتومتر دستی مـدل (ATAGO Brixo-%32) بر حسب درصد بریکس قرائت شـد (۲۴). برای اندازه‌گیری سـفتی بافـت میـوه، از سـفتی‌سـنج (OSK 1618- ساخت کشور ایتالیا) با پروب هشت میلی‌متری اسـتفاده شـد و میـزان سفتی بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع قرائت گردید (۲۴).

شاخص سرمازدگی میوه بر اساس میـزان پوسـیدگی و قهـوه‌ای شدن سطح میوه که مهمترین علامت سـرمازدگی در میـوه بادنجـان است ارزیابی شد. اگر روی میـوه پوسـیدگی و علائـم قهـوه‌ای شـدن مشاهده نشد صفر، در صورت مشـاهده علائـم سـطحی کمتـر از ۲۵ درصد در سطح میوه نمره ۱، پوسیدگی و قهوه‌ای شدن سـطحی بـین ۲۵ تا ۵۰ درصد در سطح میوه نمره ۲، پوسیدگی و قهوه‌ای شدن بین ۵۰ تا ۷۵ درصد در سطح میوه نمره ۳ و بیش از ۷۵ درصد پوسیدگی و

قهوه‌ای شدن در سطح میوه نمره ۴ داده شد (۱۲). برای انـدازه‌گیـری اسیدیته قابل تیتراسیون، از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد. ابتدا عصاره میوه تهیه شد و سپس با آب مقطر غلظت ۱۰ درصـد آن تهیه شد. مقدار ۱۰ سی‌سی از آب میوه و ۲۰ سی‌سی آب مقطر در ارلن مایر به آن اضافه گردید و ۲ تا ۳ قطره معرف فنل فتالئین به آن اضافه گردید و با استفاده از سود تیتر شد (۳۰). برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از روش یدومتریک استفاده شـد (۲۴). بـرای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل کاسبرگ میوه از روش آرنون استفاده شـد (۷).

برای ارزیابی مقدار آنتوسیانین پوسـت میـوه، پـنج میلـی‌لیتـر آب پوست میـوه بـه مـدت ۱۰ دقیقـه بـا سـرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقـه سانتریفیوژ شد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول رویی با پنج میلـی‌لیتـر محلـول KCl-HCl (۵۰ میلـی‌لیتـر از محلـول ۰/۲ مـولار از کلریـد پتاسیم + ۹۷ میلی‌لیتر از محلول ۰/۲ مولار اسید کلریدریک به حجـم ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) رقیق شد. یک میلی‌لیتـر دیگـر از محلـول رویی با ۵ میلی‌لیتر بافر استات ۰/۲ مـولار (۳۰/۵ میلـی‌لیتـر اسـتیک اسید ۰/۲ مولار + ۱۹/۵ میلی‌لیتر از استات سدیم ۰/۲ مولار به حجـم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) رقیق شد و سپس جذب هر دو محلـول در طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر خوانده شد. غلظت آنتوسیانین کـل، بـا استفاده از رابطه (۱) بر حسب میلی‌گرم سیانیدین ۳- گلوکوزید[1] در لیتر بیان شد (۱۸).

$$(1)\ \text{رابطه}\ (mg/L) = \left(\frac{A}{26900} \times 1000\right) \times (445.2) \times 5$$

$$\text{جذب}(A) = (A520\ pH1 - A700\ pH1) - (A520\ pH4.5 - A700\ pH4.5)$$

10^3 = عامـل تبـدیل، ۲۶۹۰۰ = ضـریب مـولی سـیانیدین ۳- گلوکوزید، ۴۴۵/۲ = وزن مولکولی سیانیدین ۳ گلکوزید

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسـه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودار با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

سفتی بافت میوه

نتایج تجزیه واریانس نشـان داد کـه تیمارهـای پـس از برداشـت سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین و برهمکنش آنها تاثیر معنی‌داری بـر سفتی بافت میوه بادنجان داشتند (جدول ۲). در زمان شروع انبـارداری میزان سفتی میوه ۲/۶۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بود (جدول ۱) و با افزایش دوره انبارمانی میزان سفتی بافت میوه بادنجان کـاهش یافـت که کمترین میزان در بازه زمانی ۲۱ روز مربوط به تیمار شـاهد (یـک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) بـود. در طـول دوره انبارمـانی تیمارهـای سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین در غلظت بالاتر (به ترتیب سـه و ۷/۵ میلی‌مولار) باعث حفظ سفتی بافت میوه بادنجان شدند (شکل ۱).

سفتی میوه بادنجان به مدت زمان نگهداری، رطوبت و دمای انبار بستگی دارد. گزارش شده است که سفتی بافت میوه بادنجان با بلـوغ میوه افزایش یافت و پـس از برداشـت در طـول دوره انبارمـانی رونـد کاهشی پیدا کرد (۱۵). حفظ سفتی بافت و تاخیر در نـرم شـدن میـوه ممکن است به دلیل ممانعـت از هیـدرولیز پکتـین در نتیجـه کـاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سـلولی و همچنـین ممانعـت از تولید اتیلن به دلیل کاهش فعالیت آنزیم سنتز اتیلن باشد (۲۷). نتـایج تحقیقات نشان داد که تیمار میوه گوجه فرنگی با فنیل‌آلانـین سـفتی بافت میوه را نسبت به شاهد در پایان دوره انبارمـانی حفـظ کـرد کـه ممکن است تحریک فعالیت مسیر فنیل پروپانوئید با اسـتفاده از فنیـل آلانین خارجی و افزایش فعالیـت آنـزیم‌هـای اکسـیدان در بـه تـاخیر انداختن پیری موثر باشـد (۳). سـولفید هیـدروژن بـا کـاهش فعالیـت آنزیم‌های مرتبط با نرم شدن بافت میوه مانند پلی گالاکتوروناز، پکتین متیل استراز و اندو-بتا-۱ و ۴-گلوکاناز از نرمی بافـت میـوه ممانعـت می‌کند (۲۱). در پژوهشی دیگر مشخص شد میوه‌های موز تیمار شده با ۰/۵ میلی‌مولار سولفید هیدروژن بیشترین سفتی را نشان دادند کـه به‌علت کاهش تولید اتیلن در طی انبارمانی می‌باشد (۲۸).

درصد کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تیمار پس از برداشت سـولفید هیـدروژن و فنیـل‌آلانـین، مـدت زمـان انبارمـانی و همچنین اثر برهمکنش بین تیمار و مدت زمـان انبارمـانی بـر درصـد کاهش وزن میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج بیشترین درصد کاهش وزن میوه (۶ درصد) در هفـت روز اول دوره انبارمانی اتفاق افتاد و با گذشت زمـان انبارمـانی درصـد کـاهش وزن میـوه در تمـامی تیمارهـا کـاهش یافـت در پایـان دوره انبارمانی بیشترین کاهش وزن میـوه در تیمـار شـاهد بـا ۷/۵ درصـد مشاهده شد (شـکل ۱). بـه‌طـور کلـی تیمـار فنیـل‌آلانـین و سـولفید هیدروژن تأثیر مثبتی بر کاهش وزن میوه بادنجان داشـتند و کـاهش وزن میوه را به تاخیر انداختند.

وزن میوه یکی از معیارهای مهم کیفیت میوه است کـه بـه مـرور زمان با توجه به شرایط نگهـداری کـاهش مـی‌یابـد. در دوره پـس از برداشـت دو عامـل مهـم باعـث از دسـت دادن آب و کـاهش وزن محصول می‌شود: اول قطع شدن رابط آبی میوه با گیاه مـادری و دوم افزایش تعرق از سطح میوه که یک فرآیند فیزیولوژیکی است و منجر به از دست دادن رطوبت محصول می‌شود (۳۶).

1- Cyanidin 3-glucoside

جدول ۱- مقدار صفات کیفی میوه بادنجان در زمان زمان برداشت

Table 1- Qualitative traits of eggplant fruit at harvest time

آنتوسانین Anthocyanin ($mg\ L^{-1}$)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($mg\ g^{-1}FW$)	ویتامین ث Vitamin C ($mg\ 100g^{1}FW$)	اسید قابل تیتراسیون TA (%)	مواد جامد محلول کل TSS (°B)	سفتی بافت میوه Firmness ($kg\ cm^{-2}$)
7.1	1.63	0.41	26.4	2.28	**2.64**

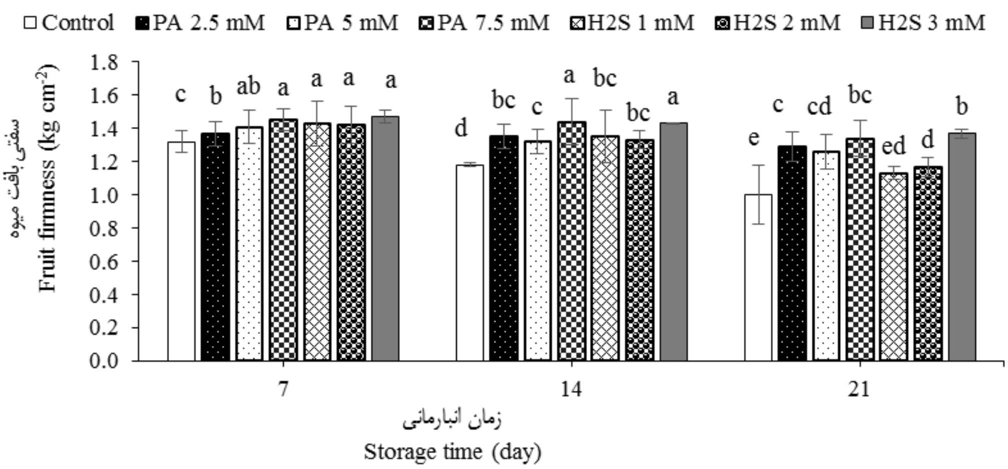
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر صفات کیفی و عمر ماندگاری میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Table 2- ANOVA for the effect of hydrogen sulfide (H_2S) and phenylalanine (PA) treatments on quality and shelf life of eggplant fruit during storage time

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares							
		ویتامین ث Vitamin C	آنتوسیانین Anthocyanin	اسید قابل تیتراسیون Titratable acidity	کلروفیل کل Total chlorophyll	مواد جامد محلول کل TSS	شاخص سرمازدگی Chilling index	سفتی بافت میوه Fruit Firmness	کاهش وزن Weight loss
تیمار Treatment	7	0.003**	1.48 ns	301.16**	2.28**	0.37*	0.01**	0.41**	5.49**
زمان انبارمانی Storage time	3	0.001**	21.18**	113.74**	0.05**	0.24*	0.09**	0.09*	19.36**
تیمار × زمان انبارمانی Treatment × storage time	21	0.003**	5.19**	29.69**	0.31**	0.23**	1.03**	0.1**	0.22**
خطا Error	42	0.01	0.69	2.91	0.008	0.09	0.01	0.03	0.09
ضریب تغییرات C.V (%)		15.8	16.6	8.7	4.07	11.1	11.19	14.4	6.8

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

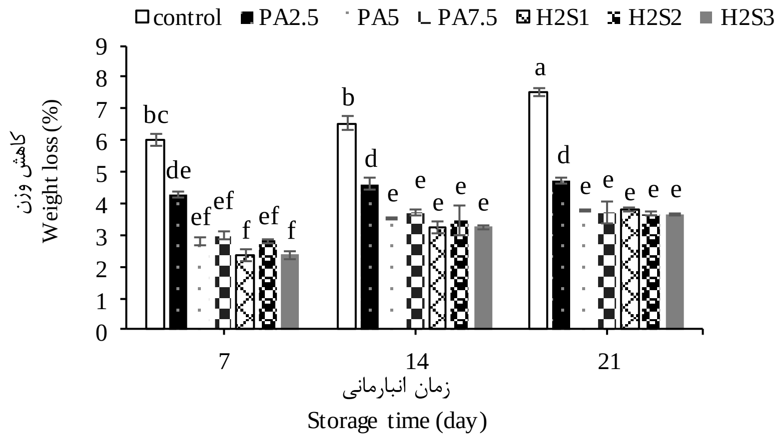
ns, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۱- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H_2S) ×فنیل‌آلانین (PA) بر میزان سفتی بافت میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Figure 1- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H_2S) ×phenylalanine (PA) on fruit firmness of eggplant fruit during storage (DMRT, $p\leq 0.05$)

گزارش شد در میوه بادنجـان در طـی دوره انبارمـانی وزن میـوه کاهش یافت (۲۹). تیمار پس از برداشت میوه انار رقم ملس سـاوه بـا فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن در در طی مـدت انبارمـانی بـر میـزان کاهش وزن میوه تأثیر مثبتی داشت (۲۵). با کاربرد سولفید هیـدروژن میزان کاهش وزن در کلم سفید چینی کاهش یافت (۵). کـاهش وزن در پس از برداشت سبزیجات به دلیل از دسـت رفـتن آب بافـت گیـاه است که برزگر و همکاران (۸) گزارش کردند میزان کاهش وزن میوه فلفل دلمه‌ای با کاهش مقدار ویتامین ث و سفتی بافت رابطـه مثبتـی دارد.



شکل ۲- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H_2S) × فنیل‌آلانین (PA) بر کاهش وزن میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Figure 2- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H_2S) ×phenylalanine (PA) on weight loss of eggplant fruit during storage time (DMRT, *$p\leq0.05$*)

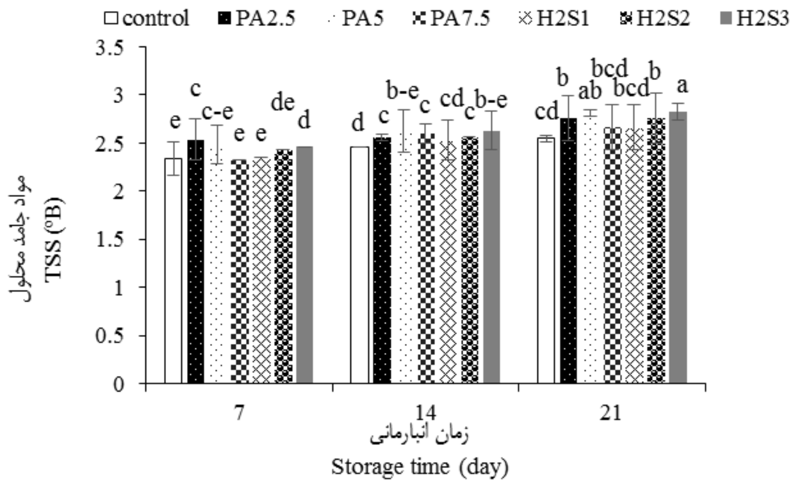
مواد جامد محلول

مقدار مواد جامد محلـول میـوه در زمـان شـروع انبـارداری ۲/۲۸ درصد بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افـزایش طول دوره انبارمانی میـزان مـواد جامـد محلـول بـه‌طـور معنـی‌داری افزایش یافت و این افزایش در میوه‌های تیمار شده نسـبت بـه شـاهد بیشتر بود به‌طوری که در پایـان دوره انبارمـانی حـداکثر میـزان مـواد جامد محلول (۲/۸۳ و ۲/۸۱ درصد) به ترتیب در تیمار ۳ میلـی‌مـولار سولفید هیدروژن و ۵ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد (جـدول ۲ و شکل ۲). گزارش شده است که با افزایش دوره انبارمانی مقـدار مـواد جامد محلول در میوه فلفل دلمه‌ای افزایش یافـت و افـزایش غلظـت مواد جامد محلول میوه با کاهش وزن تر میوه طـی انبـارداری مـرتبط است (۸). تغییر میزان قندها در طی مدت نگه‌داری با هیدرولیز پلـی-ساکاریدها و تغلیظ شدن عصاره میـوه و همچنـین کـاهش آب میـوه مرتبط می‌باشد (۱۹). در پژوهشی مشاهده شـد کـه تیمـار میـوه‌هـای گوجه فرنگی با فنیل‌آلانین موجب حفظ مواد جامـد محلـول میـوه در طول دوره‌ی انبارمانی شد و میزان مواد جامـد محلـول در طـول دوره انبارمانی افزایش یافت (۸). مطالعات انجام شده نشان داد که در طول مدت زمان انبارمانی در میوه انار رقم ملس ساوه، مـواد جامـد محلـول میوه افزایش یافت و تیمار فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن باعث حفـظ مواد جامد محلول میـوه شـد (۲۵). کـاربرد خـارجی ۲/۴ میلـی‌مـولار سولفید هیدروژن سدیم در کلم بروکلـی، مقـدار مـواد جامـد محلـول بیشتری را پس از ۵ روز نگهداری در مقایسه با شاهد نشان داد (۲۶).

اسیدیته قابل تیتراسیون میوه

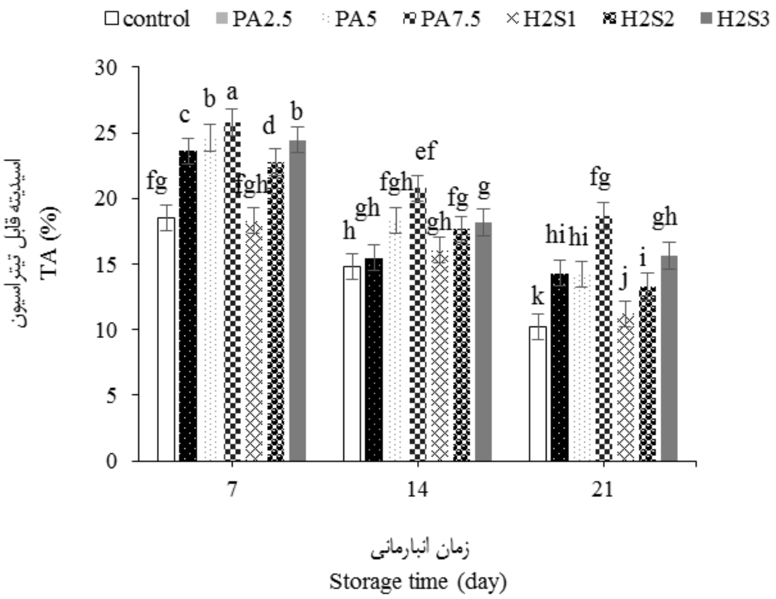
مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون میـوه در شـروع انبـارداری ۴۶/۴۱ درصد بود (جدول ۱). با توجه به نتایج میزان اسیدیته قابل تیتراسـیون در طی مدت انبارمـانی بـه‌طـور معنـی‌داری کـاهش یافـت و کـاربرد فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن تاثیر معنی‌داری در حفظ اسیدیته قابـل تیتراسیون میوه بخصوص در ۷ روز اول داشتند و کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه را به تاخیر انداختند. در پایان دوره انبارمـانی (روز ۲۱) بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (۱۸/۶۷ درصد) در میوه‌هـای تیمار شده با ۷/۵ میلی‌مولار فنیل‌آلانین و کمترین مقدار در میوه‌هـای شاهد (۱۰/۲۱ درصد) مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۳).

اسیدهای آلی به هنگام رسیدن میوه در نتیجه تنفس و نیز تبدیل شدن به قندها کـاهش مـی‌یابنـد و ایـن کـاهش رابطـه مسـتقیم بـا فعالیت‌های متابولیکی دارد. در واقع اسیدهای آلی به عنوان یک منبـع ذخیره برای میوه عمل می‌کنند و هنگام رسیدن آن، با افزایش سوخت و ساز مصرف می‌شوند (۱۷). کاهش اسید قابـل تیتراسـیون در طـول دوره انبارمانی در میوه فلفل دلمه‌ای گزارش شد (۸). گزارش شـد کـه کاربرد همزمان سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین بر روی میوه انـار رقـم ملس ساوه باعث حفظ اسیدیته قابل تیتراسیون میوه شد (۲۵).



شکل ۳- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H_2S) × فنیل‌آلانین (PA) بر میزان مواد جامد محلول میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Figure 3- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H_2S) ×phenylalanine (PA) on total soluble solid (TSS) of eggplant fruit during storage time (DMRT, *p≤0.05)*



شکل ۴- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H_2S) × فنیل‌آلانین (PA) بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

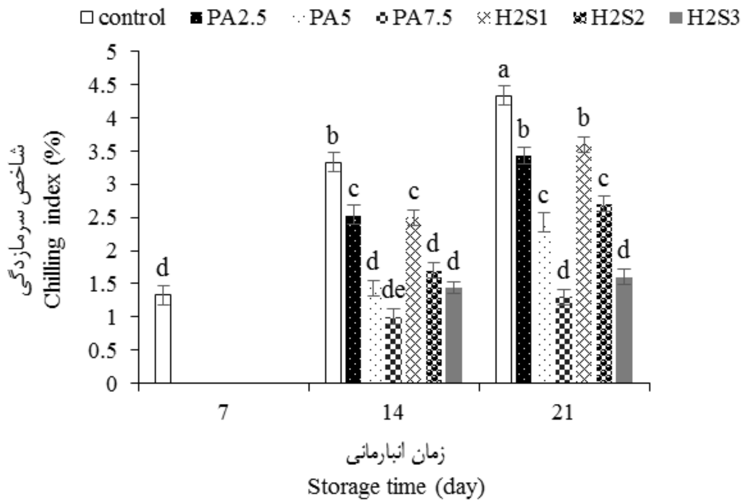
Figure 4- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H_2S) ×phenylalanine (PA) on titratable acidity (TA) of eggplant fruit during storage time (DMRT, *p≤0.05)*

شاخص سرمازدگی

تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین، مدت زمان انبارمانی و همچنین برهمکنش بین تیمار و مدت زمان انبارمانی بر شاخص سرمازدگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$) (جدول ۲). نتایج نشان داد که میوه‌های شاهد دارای درصد سرمازدگی بالاتری نسبت به نمونه‌های تیمار شده بودند. در روز هفتم انبارمانی هیچ علائمی از سرمازدگی در میوه‌های تیمار شده با سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین مشاهده نشد اما بعد از گذشت ۱۴ روز

انبارمانی، میزان سرمازدگی همه تیمارها به طـور معنـی‌داری افـزایش یافت. در پایان دوره انبارمانی بیشـترین درصـد سـرمازدگـی در بافـت میوه‌های شاهد (۴/۳۳ درصد) مشاهده شـد. بررسـی علائـم ظـاهری خسارت سرما نشان داد افزایش غلظت سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین بر تحمل به سرمای میوه‌ها تأثیر مثبتی داشت به طوری که کمتـرین علامت سرمازدگی در غلظت ۷/۵ میلی‌مولار فنیل آلانین (۱/۳ درصد) و ۳ میلی‌مولار سولفید هیدروژن (۱/۶ درصد) مشاهده شد (شکل ۵).

محصولات گرمسیری و نیمه گرمسیری مانند بادنجان نسبت بـه سرما حساس می‌باشند و نگهداری آنها در دمای پائین اغلب منجر بـه آسیب سرمازدگی می‌شود (۶). گزارش شده است که سولفید هیدروژن با کاهش نفوذ پذیری غشاء و پراکسیداسیون لیپیدها، منجر به کاهش خسارت سرمازدگی میوه موز در شـرایط انبـار سـرد شـد (۶). کـاربرد خارجی فنیل آلانین بطور معنی‌داری آسیب سرمازدگی را در میوه‌های گوجه‌فرنگی نگهداری شده در دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد بـه مـدت ۲۸ روز کاهش داد. گزارش شد که تحمـل بـه سـرمازدگی در میـوه‌هـای گوجه‌فرنگی با کاربرد فنیل‌آلانین با کاهش نشت یونی و تجمع مالین دی‌آلدئید و حفظ غشائ سلولی همراه بود که به دلیل افزایش فعالیـت آنـزیم‌هـای آنتـی‌اکسـیدان ماننـد کاتـالاز، پراکسـیداز و آسـکوربات پراکسیداز می‌باشد (۳).



شکل ۵- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H_2S) ×فنیل‌آلانین (PA) بر درصد شاخص سرمازدگی میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

Figure 5- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H_2S) ×phenylalanine (PA) on chilling index of eggplant fruit during storage time (DMRT, *p≤0.05*)

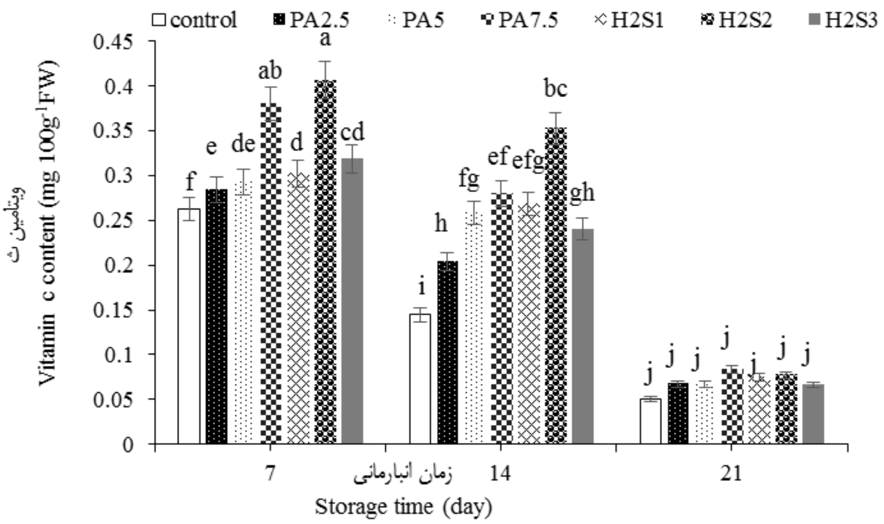
ویتامین ث

تیمار پـس از برداشـت سـولفید هیـدروژن و فنیـل‌آلانـین تـأثیر معنی‌داری، در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) بر میزان ویتامین ث در طی مدت زمان انبارمانی داشت (جدول ۲).

مقدار ویتامین ث میوه بادنجـان در زمـان شـروع انبارمـانی ۰/۴۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر بود و به‌طور کلی در طول دوره انبارمانی کاهش یافت (جدول ۱ و شکل ۶). کاربرد سـولفید هیـدروژن و فنیـل آلانین، کاهش میزان ویتامین ث را تا روز چهاردهم انبارداری به‌طـور معنی‌داری به تأخیر انداختنـد بـه‌طـوری کـه در روز چهـاردهم مقـدار ویتامین ث در میوه‌های شاهد ۶۵/۸ درصد کاهش یافت در صورتی‌که این کاهش در تیمار ۲ میلی‌مولار سولفید هیدروژن ۱۴/۶ درصـد و در تیمار ۷/۵ میلی‌مولار فنیـل آلانـین ۳۴/۱ درصـد بـود. بعـد از ۲۱ روز انبارمانی محتوای ویتامین ث به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافت و بین میوه‌های شاهد و تیمار شده اختلاف معنی‌داری مشاهده نشـد (شـکل ۶). برزگر و همکاران (۸) گزارش کردند که مقدار ویتامین ث در میـوه فلفل دلمه‌ای طی دوره انبار مانی بطور معنی‌داری کاهش یافت.

اسید آسکوربیک یک ویتامین محلول در آب است که به عنـوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی، می‌تواند سبب کاهش گونه‌هـای فعـال اکسیژن شود و در سمیت‌زدایـی گونـه‌هـای فعـال اکسـیژن بـه‌ویـژه پراکسـید هیـدروژن نقـش دارد و بـه طـور مسـتقیم در خنثـی‌کـردن رادیکال‌های سوپراکسید به عنوان یک آنتی‌اکسیدان ثانویـه در تولیـد آلفا توکوفرول (ویتامین E) و سایر آنتی‌اکسیدان‌های چربی نقش ایفـا کنـد (۳۴). محققـین علـت ایـن کـاهش را بـه اکسیدشـدن اسـید آسکوربیک به‌عنوان دهنده‌ی الکترون به اکسیدان‌ها برای خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد نسبت دادند و اسید آسکوربیک را به‌عنوان یک آنتی اکسیدان مهم طبیعی در میوه‌ها معرفی کردند (۱۶). گزارش شده است که میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های سیب برش یافته در مدت سه روز انبارمانی کـاهش یافـت ولـی در میـوه‌هـای تیمـار شـده بـا ۰/۴

میلی‌مولار سولفید هیدروژن سدیم کاهش اسید آسکوربیک بـه تـاخیر افتاد (۳۵). تیمار فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن در طی دوره انبارمانی بر روی میوه انار باعث حفظ ویتامین ث نسبت به شاهد شد (۲۵). کلم بروکلی تیمار شده با سولفید هیدروژن پس از پنج روز نگهداری مقدار ویتامین ث بالایی را در مقایسه با شاهد نشان دادند (۲۶).



شکل ۶- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H_2S) ×فنیل‌آلانین (PA) بر محتوای ویتامین ث میوه بادنجان در مدت زمان انبارمانی

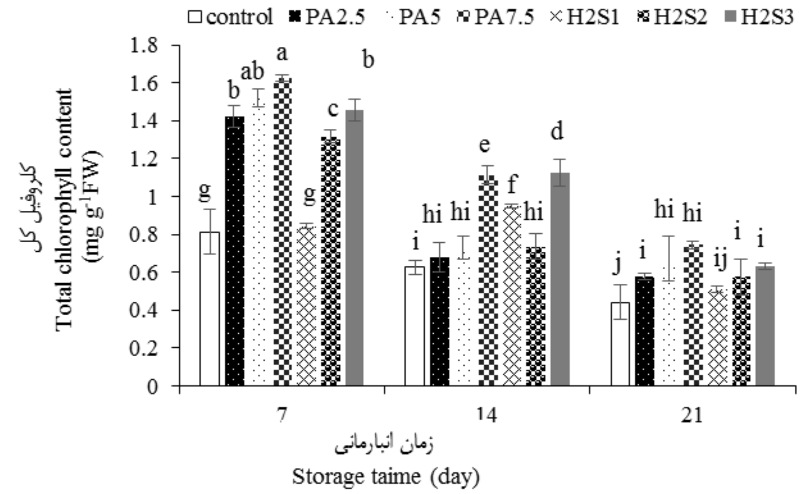
Figure 6- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H_2S) ×phenylalanine (PA) on vitamin c content of eggplant fruit during storage time (DMRT, *p≤0.05*)

کلروفیل کل کاسبرگ میوه

در طول دوره انبارمانی محتوای کلروفیل کاسبرگ میـوه بـه‌طـور معنی‌داری کاهش یافت. تیمار سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین محتوای کلروفیل کاسبرگ را تا روز هفتم بطور قابل توجهی حفظ نمودند ولـی در روزهای آخر انبارداری محتوای کلروفیل به شدت در همه تیمارهـا کاهش یافت (شکل ۷). تغییـر رنـگ کاسـبرگ‌هـا در میـوه بادنجـان بخشی از فرآیند طبیعی پیری میوه است (۳۳). در طی دوره انبـارداری رنگ کاسبرگهای بادنجان از سبز روشن به زرد قهـوه‌ای تغییـر یافـت (۲۹). تأثیر تیمار سولفید هیدروژن بر عمر انبارمانی گیاه اسفناج نشـان داد که سولفید هیدروژن با ممانعت از فعالیت آنزیم کلروفیلاز کـاهش محتوای کلروفیل را به تأخیر انداخت و رنـگ سـبز بـرگ‌هـا را بـرای هشت روز حفظ نمود (۲۲). گزارش شد که مقـدار محتـوای کلروفیـل کلم بروکلی در گیاهان شاهد به‌تدریج در دوره انبارمانی کاهش یافـت در حالی که تیمار سولفید هیدروژن مقدار محتـوای کلروفیـل را حفـظ کرد، و سطح بالاتری از محتـوای کلروفیـل در اواخـر دوره انبارمـانی نسبت به شاهد مشاهده شد (۲۶). تجمع گونه‌های فعـال اکسـیژن در زمان انبارمانی منجر به تخریب کلروفیل و پیری سبزی می‌شـود کـه سولفید هیدروژن با افزایش فعالیت آنزیم‌های جاروب کننده گونه‌هـای فعال اکسیژن شامل کاتالاز، سوپراکسید دیسـموتاز و پراکسـیداز مـانع تخریب کلروفیل می‌شود (۲۲).

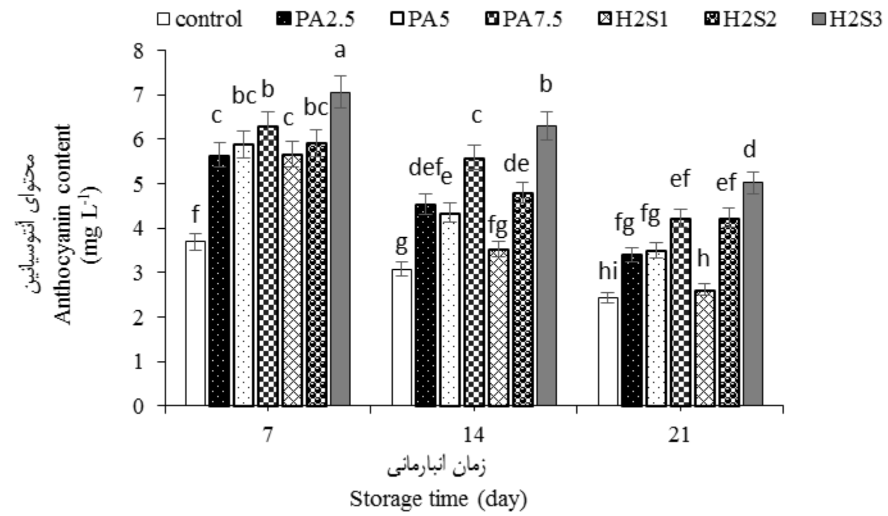
آنتوسیانین

نتایج حاصل از اندازه‌گیری آنتوسیانین پوست میوه بادنجان نشـان داد که در زمان شروع انبارمانی مقدار آنتوسانین ۷/۱ میلی‌گرم در لیتـر بود (جدول ۱) که با افزایش طول دوره انبارمانی میزان آنتوسـیانین در میوه‌های شاهد و تیمـار شـده کـاهش یافـت (شـکل ۴). تیمارهـای فنیل‌آلانـین و سـولفید هیـدروژن مقـدار آنتوسـیانین پوسـت میـوه را بخصوص در هفت روز اول انبارمانی حفـظ نمـود و کـاهش آن را بـه تاخیر انـداخت. در پایـان دوره انبارمـانی بیشـترین مقـدار آنتوسـیانین (۵/۰۲ میلی‌گرم در لیتر) در تیمار سه میلی‌مولار سـولفید هیـدروژن و کمترین مقدار (۲/۴ میلی‌گرم در لیتر) در تیمـار شـاهد مشـاهده شـد. آنتوسیانین‌ها ترکیباتی با فعالیت آنتی‌اکسـیدانی بسـیار بـالا هسـتند و عمدتا در میوه‌ها و سـبزی‌هـای قرمـز یافـت مـی‌شـوند کـه مسـئول رنگ‌های قرمز، ارغوانی، و آبی در بسیاری از گل‌ها، میوه‌ها وسبزی‌ها می‌باشند و در سطح بالا در پوست میوه بادنجان وجود دارد (۲۰).



شکل ۷- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H_2S) ×فنیل‌آلانین (PA) بر محتوای کلروفیل کل کالیکس میوه بادنجان در طول مدت زمان انبارمانی

Figure 7- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H_2S) ×phenylalanine (PA) on total chlorophyll content of eggplant fruit during storage time (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۸- اثر متقابل تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن (H_2S) ×فنیل‌آلانین (PA) بر محتوای آنتوسیانین پوست میوه بادنجان در طول مدت زمان انبارمانی

Figure 8- Interaction effect of postharvest treatment of hydrogen sulfide (H_2S) ×phenylalanine (PA) on anthocyanin content of eggplant fruit skin during storage time (DMRT, *p≤0.05*)

طبق تحقیقات پیشین، آنتوسیانین پوست میوه بادنجان طی دوره انبارمانی کاهش معنی‌داری یافت (۳۳). در پژوهش انجام شده گزارش شد که تیمار میوه انار با فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن آنتوسیانین میوه را در طول دوره انبارمانی حفظ کرد (۲۵). در طول دوره پس از برداشت محصول، تحریک فعالیت مسیر فنیل پروپانوئید با استفاده از فنیل آلانین خارجی ممکن است برای حفظ کیفیت سبزی‌ها بخصوص آنتوسانین بسیار مهم باشد (۲). هیو و همکاران[1] (۲۳) گزارش کردند که کاربرد سولفید هیدروژن سدیم در میوه شاه‌توت با افزایش فعالیت ال-سیستئین در سولفیاز و د-سیستئن دی سولفیداز، محتوای سولفید هیدروژن درونی را افزایش داد و در نتیجه با توقف تخریب آنتوسیانین باعث حفظ رنگ قرمز میوه به مدت شش روز شد.

1- Hu et al

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد پس از برداشت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن صفات کیفی میوه شامل محتوای ویتـامین ث، مـواد جامد محلول کل، آنتوسیانین، اسید قابل تیتراسیون و سفتی بافت میوه را حفظ نمود. مطابق نتایج بـا گذشـت مـدت زمـان انبارمـانی، مقـدار ویتـامین ث، آنتوسـیانین، اسـید قابـل تیتراسـیون، کلروفیـل کـل کاسبرگ‌ها و سفتی بافت میوه کاهش یافت و در مقابل محتوای مـواد جامد کل میوه و درصد کـاهش وزن و شـاخص سـرمازدگی افـزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که تیمارهـای فنیـل‌آلانـین و سـولفید هیدروژن با کاهش درصد کاهش وزن و شاخص سرمازدگی میـوه‌هـا موجب افزایش عمر انبارمانی میـوه‌هـا شـدند. بـر اسـاس نتـایج ایـن آزمایش، کاربرد پـس از برداشـت ۷/۵ میلـی‌مـولار فنیـل‌آلانـین و ۳ میلی‌مولار سولفید هیدروژن جهت حفظ کیفیت میوه و تـأخیر کـاهش وزن و آسیب سرمازدگی و طولانی نمـودن عمـر مانـدگاری میـوه در طول دوره انبارمانی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1- Aghdam M.S., and Bodbodak S. 2013. Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruit and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments. Scientia Horticulturae 156: 73–85.

2- Aghdam M.S., Mahmoudi R., Razavi F., Rabiei V., and Soleimani A. 2018. Hydrogen sulfide treatment confers chilling tolerance in hawthorn fruit during cold storage by triggering endogenous H2S accumulation, enhancing antioxidant enzymes activity and promoting phenols accumulation. Scientia Horticulturae 238: 264–271.

3- Aghdam M., Moradi M., Razavi F., and Rabiei V. 2019. Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. Scientia Horticulturae 246: 818-825.

4- Al Ubeed H.M.S., Wills R.B.H., Bowyer M.C., Vuong Q.V., and Golding J.B. 2017. Interaction of exogenous hydrogen sulfide and ethylene on senescence of green leafy vegetables. Postharvest Biology and Technology 133: 81-87.

5- Ali S., Nawaz A., Ejaz S., S. Haider T.A., Alam M.W., and Javed H.U. 2019. Effects of hydrogen sulfide on postharvest physiology of fruits and vegetables: An overview. Scientia Horticulturae 243: 290-299.

6- Ali, S., Khan A.S., Malik A.U., Shaheen T., and Shahid M. 2018. Pre-storage methionine treatment inhibits postharvest enzymatic browning of cold stored ‘Gola’ litchi fruit. Postharvest Biology and Technology 140: 100–106.

7- Arnon A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronnmy Journal 23(1): 112-121.

8- Barzegar T., Fateh M., and Razavi F. 2018. Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. Scientia Horticulturae 241, 293-303.

9- Buyukbay E.O., Uzunoz M., and Bal H.S.G. 2011. Post-harvest losses in tomato and fresh bean production in Tokat province of Turkey. Scientific Research and Essays 6(7): 1656-1666.

10- Christou A., Manganaris G.A., Papadopoulos I., and Fotopoulos V. 2013. Hydrogen sulfide induces systemic tolerance to salinity and non-ionic osmotic stress in strawberry plants through modification of reactive species biosynthesis and transcriptional regulation of multiple defense pathways. Journal of Experimental Botany 64(7): 1953-1966.

11- Concellón A., Zaroa M.J., Chaves A.R., and Vicente A.R. 2012. Changes in quality and phenolic antioxidants in dark purple American eggplant (*Solanum melongena* L. cv. lucía) as affected by storage at 0 ºC and 10 ºC. Postharvest Biology and Technology 66: 35-41.

12- Ding C.K., Wang C., Gross K.C., and Smith D.L. 2002. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. Planta 214(6): 895-901.

13- Edahiro J., Nakamura M., Seki M., and Furusaki S. 2005. Enhanced accumulation of anthocyanin in cultured strawberry cells by repetitive feeding of L-phenylalanine into the medium. Journal of Bioscience and Bioengineering. 99: 43–47.

14- FAO. 2018. FAOSTAT, FAO Statiscal Databases *http://faostat.fao.org.*

15- Gajewski M., Katarzyna K., and Bajer M. 2009. The influence of postharvest storage on quality characteristics of fruit of eggplant cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 37(2): 200-205.

16- Gao S.P., Hu K. D., Hu L.Y., Li Y.H., Han Y., Wang H.L., Ly K., Liu Y.S., and Zhang H. 2013. Hydrogen sulfide delays postharvest senescence and plays an antioxidative role in fresh-cut kiwifruit. HortScience 48(11): 1385-1392.

17- Getenit H., Seyoum T., and Woldetsdik K. 2008. The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. Journal of Food Engineering 87: 467-498.

18- Giusti M. M., and Wrolstad R. E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible

spectroscopy. Current Protocols 1: 1-2.
19- Hernandez-Munoz P., Almenar E., Del Valle V., Velez D., and Gavara R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) quality during refrigerated storage. Food Chemistery 110(2): 428-435.
20- Horbowicz M., Kosson R., Grzesiuk A., and Dębski H. 2008. Anthocyanin's of fruits and vegetables their occurrence, analysis and role in human nutrition. Vegetable Crops Research Bulletin 68: 5-22.
21- Hu L.Y., Hu S.L., Wu J., Li Y.H., Zheng J.L., Wei Z.J., Liu J., Wang H. L., Liu Y.S., and Zhang H. 2012. Hydrogen sulfide prolongs postharvest shelf life of strawberry and plays an antioxidative role in fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 60(35): 8684-8693.
22- Hu H., Liu D., Li P., and Shen W. 2015. Hydrogen sulfide delays leaf yellowing of stored water spinach (*Ipomoea aquatica*) during dark-induced senescence by delaying chlorophyll breakdown, maintaining energy status and increasing antioxidative capacity. Postharvest Biology and Technology 108: 8-20.
23- Hu H., Shen W., and Li P. 2014. Effects of hydrogen sulphide on quality and antioxidant capacity of mulberry fruit. International Journal of Food Science Technology 49(2): 399-409.
24- Jalili Marandi R. 2013. Postharvest physiology (Handling and storage of fruits, vegetables and ornamental plants) (2th ed.). Publishers Jihad Urmia University. 624 pp. (In Persian)
25- Keshavarz, F. 2018. Effect of postharvest phenylalanine and hydrogen sulfide treatments on biochemical and antioxidant properties of pomegranate fruit cultivar Malas Saveh during cold storage. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran. (In Persian)
26- Li S.P., Hu K.D., Hu L.Y., Li Y.H., Jiang A.M., Xiao F., Han Y., Liu Y.S., and Zhang H. 2014. Hydrogen sulfide alleviates postharvest senescence of broccoli by modulating antioxidant defense and senescence-related gene expression. Journal of Agricultural and Food Chemistry 62(5): 1119-1129.
27- Luo Z. 2006. Extending shelf-life of persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit by hot air treatment. European Food Research and Technology 222(1-2): 149-154.
28- Luo Z.D., Li R.D., and Mou W. 2015. Hydrogen sulfide alleviates chilling injury of banana fruit by enhanced antioxidant system and proline content. Scientia Horticulturae 183: 144-151.
29- Massolo J.F., Concellón A., Chaves A.R., and Vicente A.R. 2011. Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. Postharvest Biology and Technolology 59(1): 10-15.
30- Mostofi Y., Dehestani Ardekani M., and Razavi H. 2011. The effect of chitosan on postharvest life extension and qualitative characteristics of table grape "Shahroodi". Journal of Food Science 8(30), 93-102. (In Persian)
31- Portu J., López-Alfaro I., Gómez-Alonso S., López R., and Garde-Cerdán T. 2015. Changes on grape phenolic composition induced by grapevine foliar applications of phenylalanine and urea. Food Chemistery 180: 171-180.
32- San José R., Plazas M., Sánchez-Mata M.C., Cámara M., and Prohens J. 2016. Diversity in composition of scarlet (*S. aethiopicum*) and gboma (*S. macrocarpon*) eggplants and of interspecific hybrids between *S. aethiopicum* and common eggplant (*S. melongena*). Journal of Food Composition and Analysis 45: 130-140.
33- Shi J., Zuo J., Zhou F., Gao L., Wang Q., and Jiang A. 2018. Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. Postharvest Biology and Technology 141: 33–38.
34- Suekawa M., Fujikawa Y., Inoue A., Kondo T., Uchida E., Koizumi T., and Esaka, M. 2019. High levels of expression of multiple enzymes in the Smirnoff-Wheeler pathway are important for high accumulation of ascorbic acid in acerola fruits. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 1-4.
35- Sun Y., Zhang W., Zeng T., Nie Q.X., Zhang F. Y., and Zhu L.Q. 2015. Hydrogen sulfide inhibits enzymatic browning of fresh-cut lotus root slices by regulating phenolic metabolism. Food Chemistery 177: 376–381.
36- Treviño Garza M. Z., García S., Del Socorro Flores González M., and Arévalo Niño K. 2015. Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). Journal of Food Sciences 80(8): 1823-1830.
37- Tzin V., and Galili G. 2010. New insights into the shikimate and aromatic amino acids biosynthesis pathways in plants. Mol. Plant. 3(6): 956-972.
38- Zheng J.L., Lan-Ying Hu L.Y., and Hu K.D. 2016. Hydrogen sulfide alleviates senescence of fresh-cut apple by regulating antioxidant defense system and senescence-related gene expression. HortScience 51(2): 152–158.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 705-717
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۷۱۷-۷۰۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Effect of Postharvest Treatments of Phenylalanine and Hydrogen Sulfide on Maintaining Quality and Enhancing Shelf life of Eggplant (*Solanum melongena* L.)

R. Najafi[1]- T. Barzegar[2*]- F. Razavi[3]- Z. Ghahremani[4]
Received: 12-07-2020
Accepted: 21-09-2020

Introduction: Eggplant (*Solanum melongena* L.) is an important non-climacteric fruit grown in tropical and subtropical regions. The total production in Iran and world for eggplants in 2018 were estimated 54077210 and 666838 tons, respectively, and Iran ranked fifth in the production of this product. The health-promoting attributes of eggplant are derived from the phytochemicals with good source of antioxidants (anthocyanin and phenolic acids), dietary fiber and vitamins. Fruit deterioration during long term storage is associated with appearance quality reduction, calyx discoloration, softening and pulp browning caused by the oxidation of phenolic compounds. Hydrogen Sulfide (H_2S) is a flammable and colorless gas, that similar to carbon monoxide and nitric oxide, is known as third leading signaling molecule. It has been reported that H_2S play an imperative role in the postharvest physiology and chilling injury of various fruits and vegetables. In recent years, exogenous phenylalanine (PA) application has been employed as a beneficial procedure for enhancing quality in fruits and vegetables by promoting higher phenols and flavonoids accumulation arising from higher PAL enzyme activity and proline accumulation exhibiting higher ROS scavenging capacity. Thus, the aim of this study was to investigate the postharvest application of H_2S and PA on quality and postharvest storage of eggplant fruit during storage at 7 °C for 21 days.

Material and Methods: Eggplant fruits (*Solanum melongena* cv. Hadrian) were harvested at commercially maturity stage in Jun 2019 from a greenhouse in Hashtgerd city, Iran. Fruit selected for uniform size, shape, and color, and immediately transported to the laboratory. They were divided into seven parts for the following treatments: control (0), hydrogen Sulfide (H_2S) at 0.1, 0.2 or 0.3 mM and phenylalanine (PA) at 2.5, 5 or 7.5 mM. Each treatment was done in three replicates, consists of 24 fruits from each replicate, and then randomly divided into four groups include six fruits. One group was analyzed 24 hrs. after harvesting and another groups stored at 7 ± 1 °C and 85% RH for 21 days. At 7-day intervals, one group was taken at random and transferred for one day at 20 °C (shelf-life), and subjected to physicochemical analysis. For H_2S fumigation, fruit was placed at the bottom of a sealed 15 L container with different aqueous sodium hydrosulfide (NaHS) solution concentrations for 10 min, and for PA treatments, the fruits were immersed in 10 L of fresh phenylalanine solution for 10 min and in distilled water as a control. The fruits were allowed to completely dry at room temperature before storage.

Results and Discussion: The results showed that fruits treated by PA and H_2S exhibited higher fruit firmness, chlorophyll, anthocyanin, total soluble solids (TSS), vitamin C, pH and titratable acidity (TA) accompanied by lower weight loss and chilling indices during storage at 7 ºC for 21 days. In control eggplant fruits, fruit firmness (24.2%), chlorophyll (45.8%), vitamin C (34.1 %), anthocyanin content (66.2 %) and TA (44.8) decreased, and weight loss (7.5 %), TSS (8.2%) and chilling indices (4.5 %) increased during 21 storage time. The maximum fruit firmness (1.37 and 1.34 kg cm^{-2}), anthocyanin content (5.02 and 4.2 mg L^{-1}) and TA (18.67 and 1.37 %), and the lowest weight loss (3.67 and 3.7 %) and chilling index (1.6 and 1.3 %) was found in fruits treated with H_2S at 3 mM and PA at 7.5 mM during storage at 7 °C for 21 days, respectively. It has been reported that texture correlates with firmness and higher firmness is a characteristic indicator of good texture during postharvest storage of fresh products. Soluble solid contents, titratable acidity (TA) and sugars have been known as important attributes contributing in overall sensory quality of fruits and vegetables. Development of the chilling injury disorder significantly reduces quality of fruits and vegetables due to diminished consumer's acceptance. So, start of chilling injury symptoms eventually becomes economically critical postharvest constraint that defines the storage life potential of the products. Decline chilling injury in responses to H_2S and PA treatments may resulted from higher ROS scavenging enzymes SOD, CAT, APX and POD activity and

1, 2, 3 and 4- Graduated M.Sc., Associate Professor and Assistant Professors, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: tbarzegar@znu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.87237

proline, phenols and flavonoids accumulation giving rise to conferring chilling tolerance.

Conclusion: According to results, PA at 7.5 mM and H_2S at 3 mM had the highest positive effect on maintain firmness and fruit quality and reducing weight loss and chilling, therefor postharvest treatment of PA and H_2S can be proposed to improve fruit quality and postharvest life during storage period.

Keywords: Anthocyanin, Chilling, Firmness, Vitamin C, Weight loss